

Baza Wiedzy o Niebezpiecznych Sytuacjach Nawigacyjnych Statku

Statki często muszą poruszać się tylko po torach wodnych, których szerokość jest ograniczona. Dotyczy to dojścia do portu, gdy morze w jego pobliżu jest płytkie i statek może dopłynąć do portu jedynie wąskim, specjalnie pogłębionym torem, oznaczonym bojami (reda portu Swinoujście). Również śródlądowe drogi wodne są przykładami takich ograniczonych torów (trasa Świnoujście-Szczecin, rzeka Odra i inne rzeki). Zboczenie statku lub barki z wyznaczonego toru wodnego oznacza albo uderzenie w betonowy brzeg albo wejście na mieliznę. Dotychczas statki były prowadzone po torach wodnych przez specjalnie wyszkolonych pilotów dokładnie znających tor i mających dużą wiedzę i wyczucie co do zachowania się statków, czasu ich reakcji na obrót steru i na zmianę obrotów śruby, wyczucie bezwładności statku. Statki, ze względu na swą wielką masę bardzo powoli reagują na powyższe zmiany. Dlatego niedoświadczony nawigator szybko może doprowadzić do katastrofy, zwłaszcza gdy na torze wodnym działa silny prąd wodny, falowanie, bądź wieje silny wiatr.

Naukowcy i inżynierowie w ośrodkach innowacyjno-rozwojowych od lat pracują nad automatycznymi pilotami, które mogłyby zastąpić pilotów-ludzi w prowadzeniu statków po ograniczonych torach wodnych. Można bowiem zadać sobie następujące pytanie:

Czy w warunkach istnienia satelitarnego systemu określania pozycji geograficznej, GPS, stosowanego już w samochodach, można skonstruować automatycznego pilota sterującego statkiem na ograniczonym torze wodnym?

Aby skonstruować takiego komputerowego pilota potrzebna jest baza wiedzy umożliwiająca podejmowanie rozsądnych decyzji o sterowaniu statkiem we wszystkich sytuacjach nawigacyjnych jakie mogą wystąpić na torze wodnym. Podany dalej przykład takiej bazy jest pierwszym krokiem do stworzenia automatycznego pilota. Zadaniem bazy wiedzy jest, w tym przypadku, poinformowanie nawigatorów (lub automatycznego nawigatora) czy aktualna sytuacja w jakiej znajduje się statek na torze (odchyłka od środka toru, kierunek poruszania się statku, szybkość i kierunek obracania się statku) jest dla statku bezpieczna czy nie - w takim wypadku nawigator powinien odpowiednio i natychmiast zareagować. Aby stworzyć bazę wiedzy o tym, jakie sytuacje nawigacyjne są bezpieczne a jakie nie, należy zdobyć wiedzę od doświadczonych pilotów. Wiedzę tą można "wydobyć" od pilota w drodze odpowiednich eksperymentów.

Metoda 1

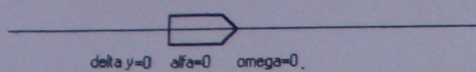
Uzyskiwanie lingwistycznej bazy wiedzy od pojedynczego eksperta

Doświadczonemu pilotowi, którego można określić mianem eksperta, przedstawia się nieruchomy obraz statku znajdującego się w pewnej odległości od środka toru wodnego, z prawej strony środka toru (dodatnia odchyłka $\Delta y[m]$ od zadanej trajektorii), z lewej strony (ujemna odchyłka), lub dokładnie na trajektorii ($\Delta y=0$). Statek pokazywany jest przy różnych kątowych odchyłkach $\alpha[^\circ]$ od zadanego kursu (odchyłki te mogą być dodatnie- w kierunku ruchu wskazówek zegara, lub ujemne - w kierunku przeciwnym). Statek, w danej chwili, może mieć nie tylko odchyłkę od kursu, np.: $\alpha=25^\circ$, ale może się też dodatkowo obracać z kątową prędkością $\omega[^\circ/s]$. Obracanie się statku może w następnych chwilach czasu spowodować jeszcze większą i jeszcze bardziej niebezpieczną odchyłkę kursu.

Oczywiście, reakcja pilota musi być w takim przypadku odpowiednio większa- musi wyprzedzać przyszłe, przewidywane sytuacje statku aby zapobiec wypadkowi. Przykłady różnych sytuacji nawigacyjnych pokazane są na rys. 1.

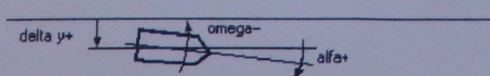
Δy [m] - odchyłka liniowa centrum kadłuba od zadanej trajektorii
 α [°] - kątowa odchyłka wzdłużnej osi statku od zadanego kierunku
 ω [°/s] - kątowa prędkość obracania się statku

sytuacja bezpieczna



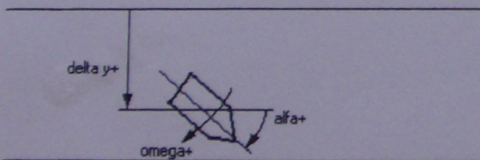
a)

sytuacja mało niebezpieczna



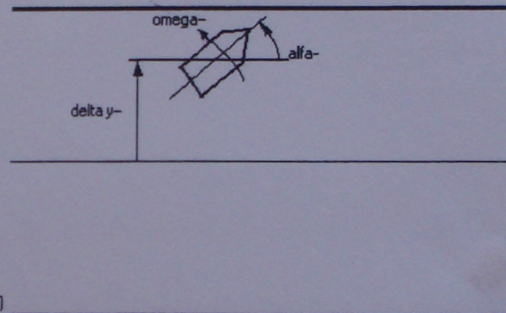
b)

sytuacja niebezpieczna



c)

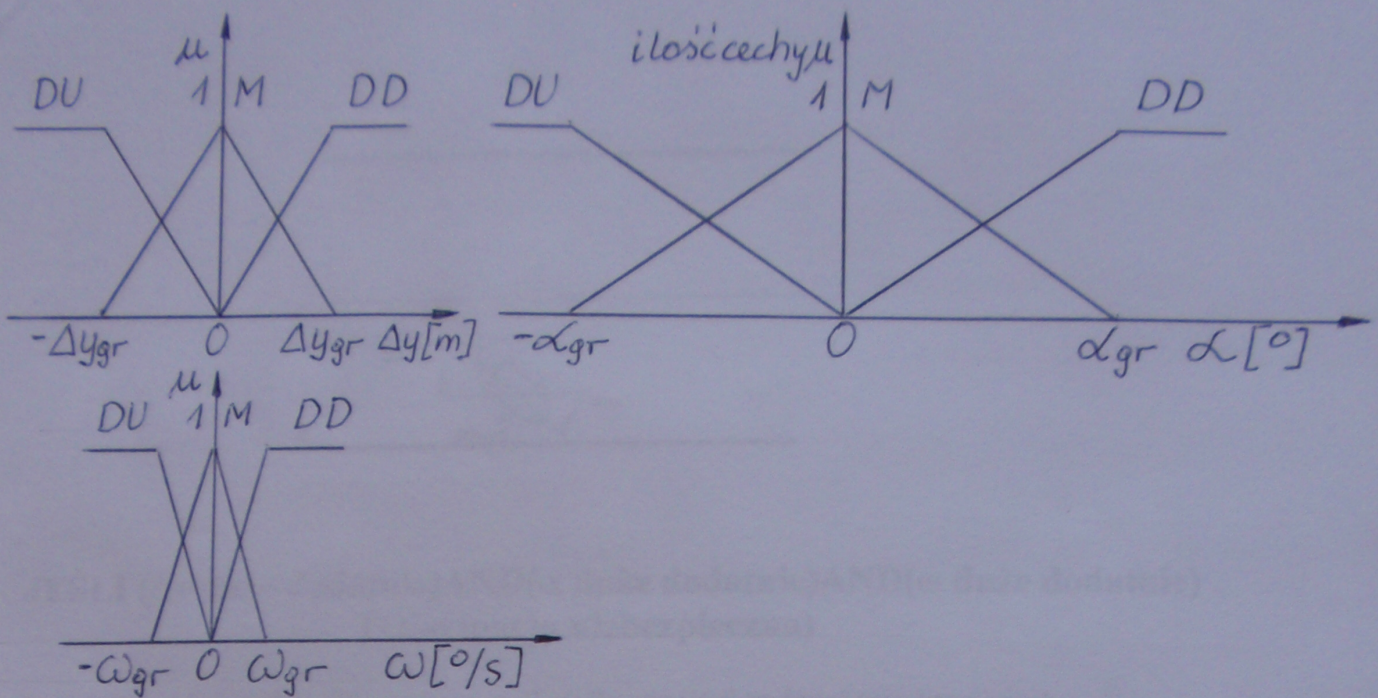
sytuacja niebezpieczna



d)

Rys.1. Przykłady sytuacji nawigacyjnych o różnym stopniu niebezpieczeństwa.

Należy zwrócić uwagę na to, że istnieje **symetria sytuacyjna**, tzn. sytuacje o takim samym stopniu niebezpieczeństwa (podobne jakościowo) występują zarówno po prawej jak i po lewej stronie toru wodnego (rys.1). W praktycznym sterowaniu statkiem piloci oceniają odchyłki liniowe od trajektorii, odchyłki kątowe i prędkość obracania się statku, wzrokowo, podobnie jak kierowcy samochodów, którzy nie potrzebują technicznego miernika prędkości aby ocenić, czy jadą szybko, bardzo szybko, bardzo powoli, wolno, etc. Piloci statku mogą wyrazić swe oceny niebezpieczeństwa sytuacji, i najczęściej wyrażają słownie, używając kwantyfikatorów lingwistycznych. Dlatego w pierwszym etapie przeprowadzona zostanie identyfikacja tych kwantyfikatorów w celu uzyskania ich definicji matematycznych w formie rozkładu cechy. Piloci używali kwantyfikatorów: **odchyłka mała, odchyłka duża ujemna, odchyłka duża dodatnia**. Przybliżone definicje tych kwantyfikatorów zidentyfikowano metodą deklaratywną, rys.2.

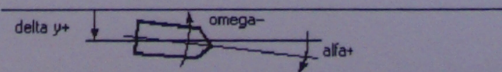
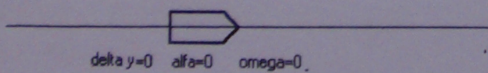


Rys.2. Definicje kwantyfikatorów lingwistycznych: *mała*, *duża ujemna*, *duża dodatnia*, odchyłki statku od trajektorii Δy , odchyłki od kursu α , i prędkości obrotowej ω . Wartości graniczne Δy_{gr} , α_{gr} , ω_{gr} , są konkretnymi liczbami podanymi przez pilota podczas wywiadu.

Po zidentyfikowaniu definicji kwantyfikatorów, w drugim etapie, dokonano **oceny niebezpieczeństwa różnych sytuacji** nawigacyjnych. Pilotowi pokazywano daną sytuację na rysunku a jego zadaniem była ocena, czy dana sytuacja jest bezpieczna czy niebezpieczna. Na rys.3 przedstawione są sytuacje o małych odchyłkach, które przez eksperta ocenione zostały jako bezpieczne. Na ich podstawie uzyskano od eksperta regułę lingwistyczna informującą o tym, które sytuacje są bezpieczne.

$\Delta y = MaTe, \alpha = MaTe, \omega = MaTe$

$\Delta y = MaTe, \alpha = MaTe, \omega = MaTe$



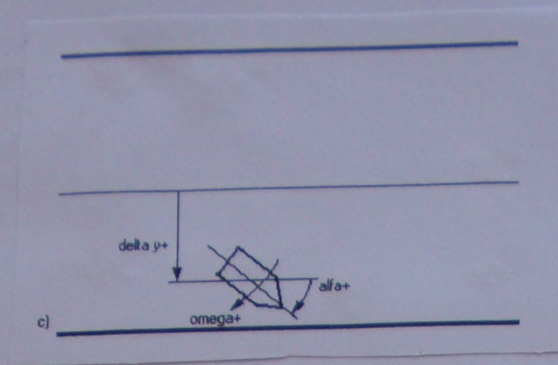
a)

b)

JĘŚLI (Δy małe) AND (α małe) AND (ω małe) TO (sytuacja bezpieczna)

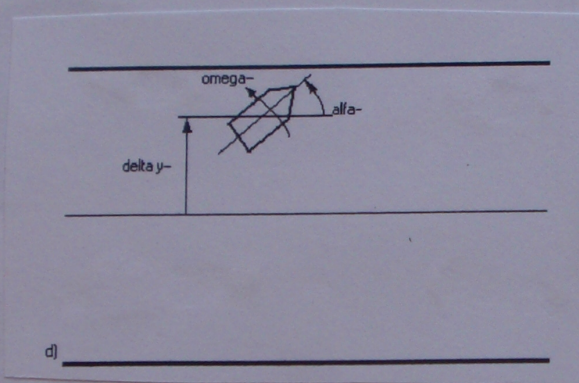
Rys.3. Dwa przykłady sytuacji bezpiecznych i odpowiadająca im reguła lingwistyczna.

Na rys.4 i 5 przedstawiono 2 przykłady sytuacji, które zostały przez eksperta ocenione jako niebezpieczne. Podano też na nich reguły odpowiadające tym sytuacjom



**JEŚLI (Δy duże dodatnie) AND (α duże dodatnie) AND (ω duże dodatnie)
TO (sytuacja niebezpieczna)**

Rys.4. Przykład niebezpiecznej sytuacji statku poniżej zadanej trajektorii ruchu.



**JEŚLI (Δy duże ujemne) AND (α duże ujemne) AND (ω duże ujemne)
TO (sytuacja niebezpieczna)**

Rys.5. Przykład niebezpiecznej sytuacji nawigacyjnej powyżej zadanej trajektorii ruchu statku.

Pilotowi przedstawiono w sumie $3 \times 3 \times 3 = 27$ obrazów różnych sytuacji nawigacyjnych odpowiadających wszystkim możliwym kombinacjom wartości lingwistycznych 3 zmiennych niezależnych.

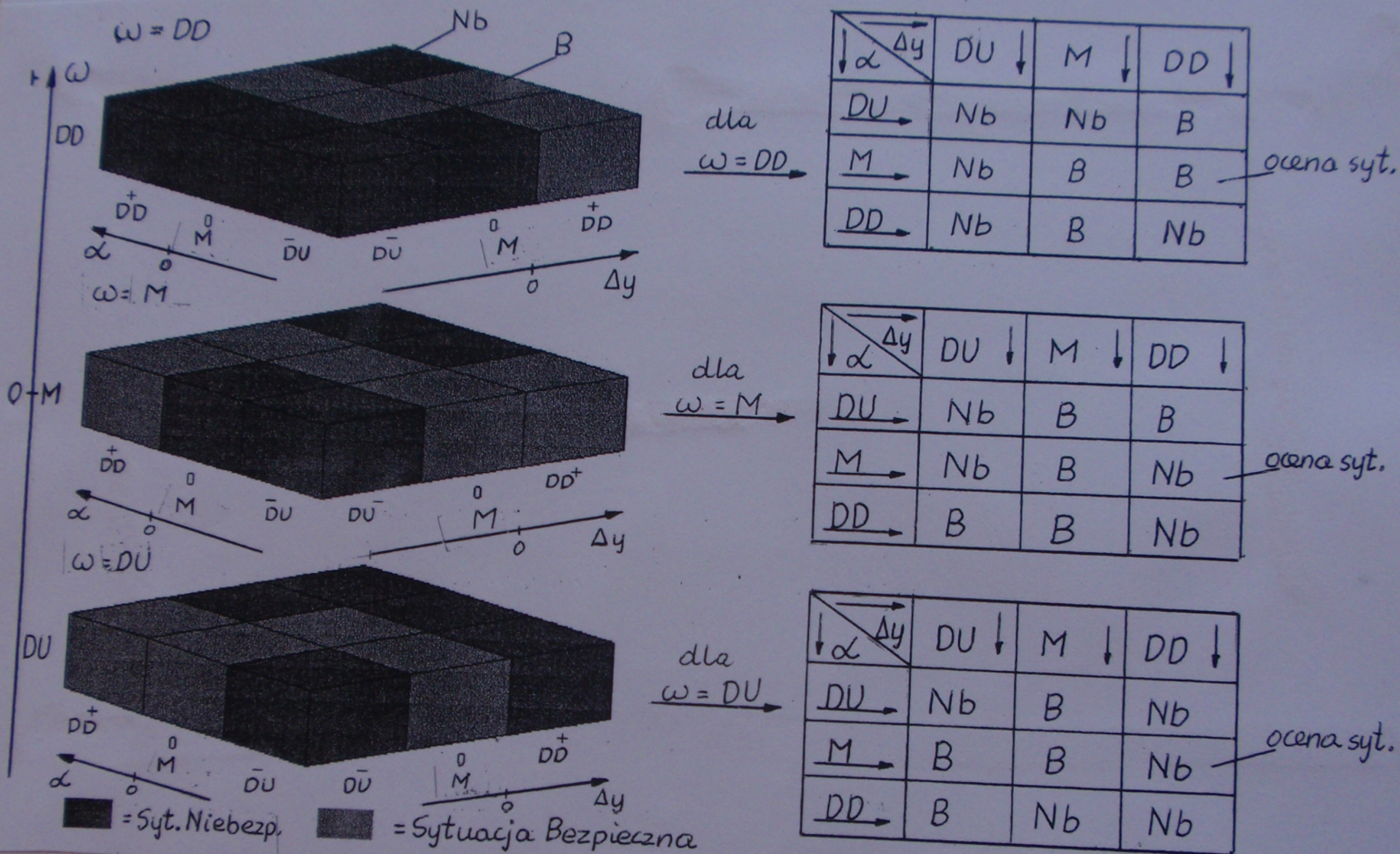
Odchyłka Δy [m] od trajektorii; duża ujemna, mała, duża dodatnia.

Odchyłka kątowa α [°]: duża ujemna, mała, duża dodatnia.

Prędkość obrotowa statku ω [°/s]: duża ujemna, mała, duża dodatnia.

W wyniku oceny 27 sytuacji uzyskano od pilota 27 reguł klasyfikujących sytuacje jako bezpieczne albo niebezpieczne. Lingwistyczna baza wiedzy z tymi regułami, w formie tabelarycznej, przedstawiona jest na rys.6. Ponieważ w problemie mamy 3 zmienne niezależne ($\Delta y, \alpha, \omega$) oraz jedną zmienną wynikową (niebezpieczeństwo sytuacji) to problem

jest 4-wymiarowy, a stąd trudniejszy dla zrozumienia dla człowieka. Aby zrozumienie to ułatwić, bazę wiedzy "przekrojono" na 3 warstwy: pierwsza warstwa odpowiada dużej dodatniej prędkości obrotowej ω , druga warstwa małej ω , a warstwa trzecia dużej ujemnej wartości ω . Wartości zmiennej wynikowej oznaczono odcieniami: **sytuacje bezpieczne - szare, sytuacje niebezpieczne - czarne**. W ten sposób problem 4-wymiarowy został sprowadzony do przestrzeni 3D.



Rys.6. Lingwistyczna baza wiedzy informująca o tym, które sytuacje są bezpieczne a które nie, w zależności od lingwistycznych wartości zmiennych niezależnych; odchyłka liniowa od trajektorii Δy , odchyłka kątowna kursu α , prędkość kątowna obracania się statku ω .

Jeżeli przy pomocy urządzeń pomiarowych pomierzmy liczbowe wartości poszczególnych zmiennych jakie ma statek w danej chwili na torze wodnym, np.:

$$\Delta y = 17[m], \quad \alpha = -19[^\circ], \quad \omega = -0.05[^\circ/s]$$

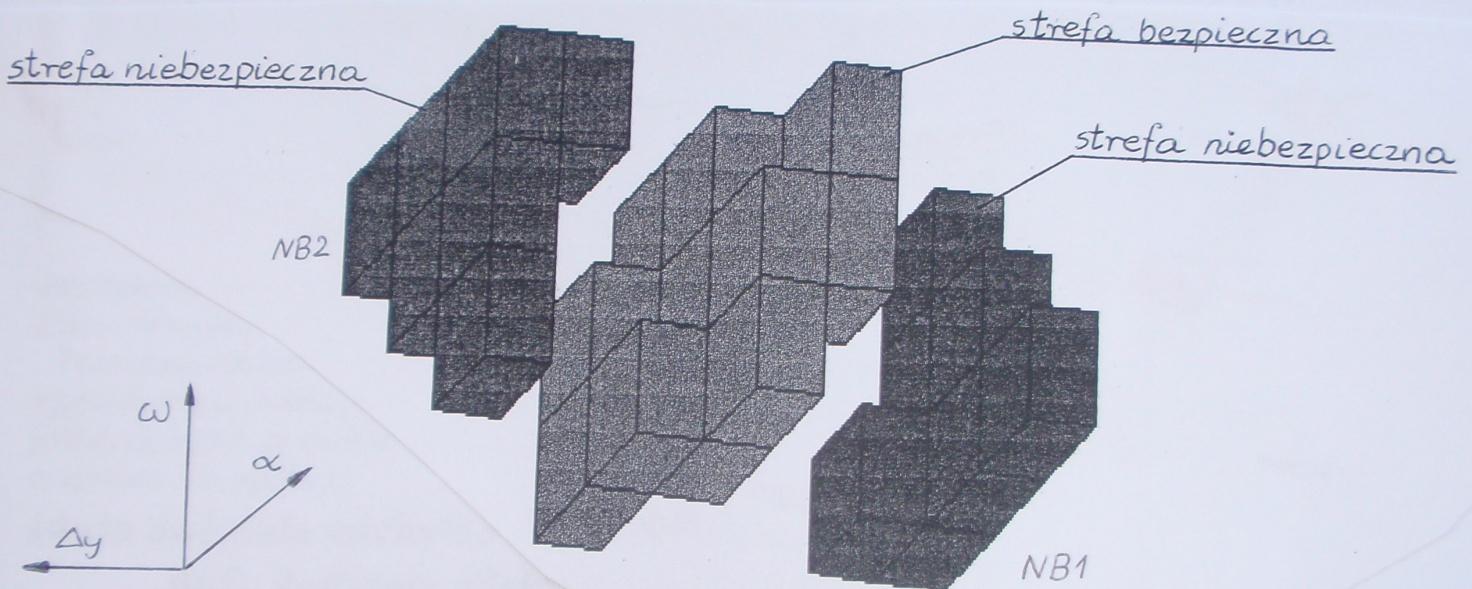
to na podstawie rozmytego modelu rozpatrywanej zależności, złożonego z definicji kwantyfikatorów lingwistycznych oraz z lingwistycznej bazy wiedzy, możemy obliczyć **liczbowy stopień niebezpieczeństwa NB** sytuacji w skali $[0,1]$, gdzie "0" oznacza sytuację całkowicie bezpieczną a "1" sytuację całkowicie niebezpieczną. Należy zwrócić tu uwagę

Należy zwrócić tu uwagę na fakt, że model zależności sformułowany lingwistycznie umożliwia przeprowadzanie obliczeń numerycznych i uzyskiwanie numerycznych wyników! Możliwe jest także przeprowadzanie obliczeń gdy dane sformułowane są lingwistycznie, np. $\Delta y = \text{małe}$, etc.

Dane mogą też być podane z użyciem innych kwantyfikatorów lingwistycznych niż stosowane w modelu (duża ujemna, mała, duża dodatnia), np.: bardzo mała ujemna, średnia dodatnia, etc. Jeżeli rozmyty model zależności stosujemy do obliczeń numerycznych, to wyniki będą zwykle miały wartości ułamkowe, np.: $NB=0.87$, co oznacza sytuację o wysokim stopniu niebezpieczeństwa, a $NB=0.19$ sytuację o niskim stopniu niebezpieczeństwa. Wyniki typu $NB=0$ lub $NB=1$ uzyskiwane będą raczej rzadko.

W zależności od obliczonego stopnia niebezpieczeństwa sytuacji pilot powinien zareagować mniej lub bardziej gwałtownie, tzn. zmienić położenie steru i/lub prędkość obrotową śruby statku. Decyzję taką może podjąć pilot, oficer nawigacyjny statku, ale i też **automatyczny pilot** połączony z komputerowym programem oceniającym niebezpieczeństwo sytuacji.

Na rys.6 wszystkie sytuacje nawigacyjne pokazane zostały w formie 3 warstw. Można jednak pokazać je w innej formie, łącząc ze sobą wszystkie atomowe sytuacje bezpieczne i niebezpieczne w oddzielne klastry (częsteczki złożone z atomów), tak jak to przedstawiono na rys.7.



Rys.7. Zgrupowania (klastry) atomowych sytuacji bezpiecznych i niebezpiecznych.

Zauważ na rys.7, że wszystkie atomowe sytuacje bezpieczne tworzą klastr leżący w środku przestrzeni zmiennych a więc w pobliżu punktu $\{\Delta y=0, \alpha=0, \omega=0\}$, gdzie zmienne te przyjmują małe wartości. Natomiast atomowe sytuacje niebezpieczne tworzą 2 zgrupowania (a nie jedno). Pierwsze w strefie dużych dodatnich wartości zmiennych $\Delta y, \alpha, \omega$, a drugie w strefie dużych ujemnych wartości tych zmiennych. Obydwa te klastry są względem siebie symetryczne. W przypadku klastra "bezpiecznego" B sytuacje najbardziej bezpieczne znajdują się w środku tego klastra. Natomiast w przypadku klastrów "niebezpiecznych" NB1 oraz NB2 sytuacje najbardziej niebezpieczne nie znajdują się w ich środkach lecz na zewnątrz, w ich rogach, tam gdzie wartości $\Delta y, \alpha, \omega$ są najmniejsze (NB1) bądź największe (NB2). Stopień bezpieczeństwa sytuacji jest tym większy im wektor sytuacji statku bliższy jest wektorowi wartości maksymalnego bezpieczeństwa.

$$\begin{bmatrix} |\Delta y| \\ |\alpha| \\ |\omega| \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

Stożek niebezpieczeństwa sytuacji statku jest tym większy, im aktualny wektor sytuacji statku bliższy jest jednemu z dwóch wektorów charakteryzujących maksymalnie "niebezpieczne" rogi klastrów zewnętrznych.

$$\begin{bmatrix} |\Delta y| \\ |\alpha| \\ |\omega| \end{bmatrix} \rightarrow \begin{bmatrix} \Delta y_{\max} \\ \alpha_{\max} \\ \omega_{\max} \end{bmatrix}$$

Granica między klastrami "niebezpiecznymi" oraz klastrem "bezpiecznym" oznacza, w przybliżeniu, poziom niebezpieczeństwa 0.5 w skali [0,1].

Uwaga!

Lingwistyczna baza wiedzy przedstawiona graficznie na rys.6 zawiera aż 27 reguł. Jest to duża liczba. Każda z reguł określa niebezpieczeństwo jednej tylko atomowej sytuacji statku. Jest ona reprezentowana przez jeden regularny prostopadłościan. Natomiast na rys.7 widzimy, że zgrupowania tych regularnych prostopadłościanów tworzą tylko 3, ale już nieregularne duże klastry. Gdybyśmy każdy z tych klastrów potrafili zdefiniować (opisać) przy pomocy wzoru matematycznego to moglibyśmy zmniejszyć liczbę reguł w bazie wiedzy z 27 do 3. 3 reguły identyfikujące wszystkie sytuacje niebezpieczne i bezpieczne umożliwią szybszą pracę komputerowego "mózgu", umożliwią szybsze jego "myślenie" niż ma to, miejsce w przypadku 27 reguł.

Jak dokonać transformacji z 27 do tylko 3 reguł?

Jak zwiększyć przy tym ogólną dokładność bazy wiedzy?

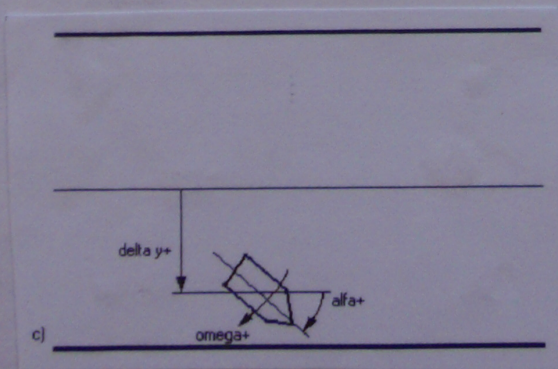
Przedstawiona wcześniej lingwistyczna baza wiedzy, składająca się z 27 reguł, wygenerowana została przez jednego tylko pilota, przy najmniejszym nakładzie pracy. Należy jednak pamiętać, że zwykle różni eksperci oceniają identycznie tylko sytuacje "jasne" i oczywiste. Np. sytuacja:

{duża dodatnia odchyłka Δy od trajektorii,

duża dodatnia odchyłka kursu α ,

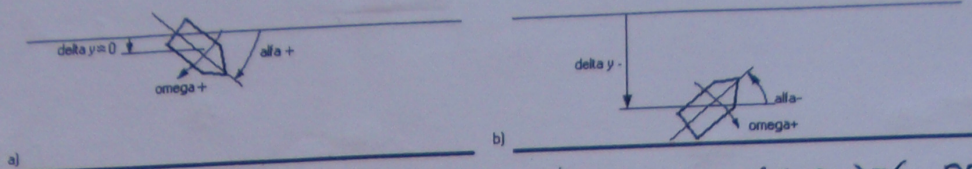
duża dodatnia prędkość obracania się statku ω }

pokazana na rys.8 zostanie na pewno przez wszystkich ekspertów określona jako niebezpieczna.



Rys.8. Przykład sytuacji na pewno niebezpiecznej.

Jednak niektóre sytuacje nawigacyjne są mniej "jasne" i przez jednych ekspertów oceniane będą jako jeszcze niebezpieczne a przez innych jako już bezpieczne. Przykłady takich sytuacji przedstawiono na rys.9.



JĘŚLI ($\Delta y = M$) I ($\alpha = DD$) I ($\omega = DD$) TO (Syt. = ?) JĘŚLI ($\Delta y = DD$) I ($\alpha = DU$) I ($\omega = DD$) TO (Syt. = ?)

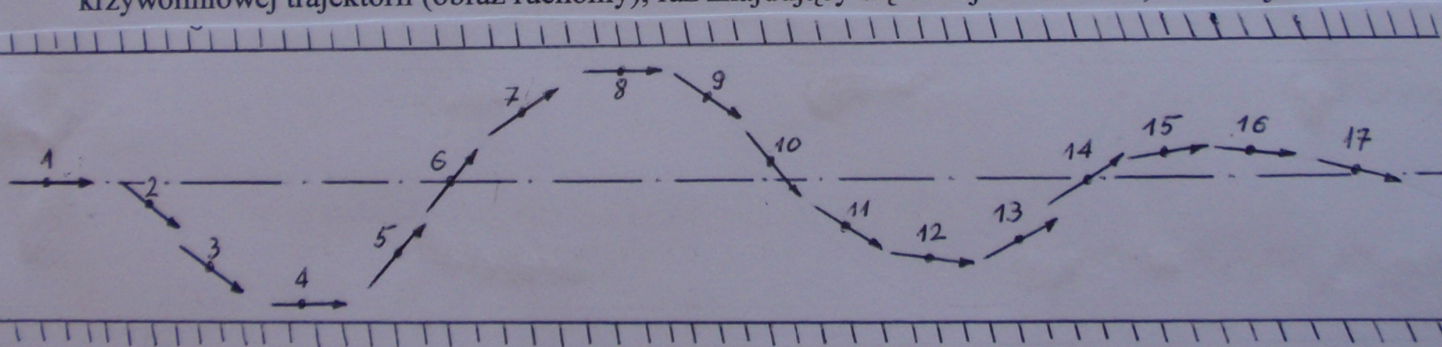
Rys. 9. Przykłady sytuacji nawigacyjnych trudniejszych do jednoznacznej oceny pod względem ich bezpieczeństwa/niebezpieczeństwa.

W takim przypadku trzeba zbadać, czy daną "niejasną" sytuację więcej ekspertów oceni jako bezpieczną czy jako niebezpieczną. Trzeba więc "użyć" wielu ekspertów. W poprzednim eksperymencie z 1 tylko ekspertem przedstawiano mu nieruchomy rysunek z pewną sytuacją nawigacyjną, prosząc go o ocenę jej niebezpieczeństwa. Lepszą jednak metodą jest przedstawianie ekspertowi ruchomych obrazów sytuacyjnych, co umożliwia obecnie technika komputerowa. Metodę taką zastosowano w drugim eksperymencie.

Metoda 2

Identyfikacja bazy wiedzy z tylko 3-ma regułami

W drugim eksperymencie wzięło udział wielu ekspertów nawigacyjnych (kapitanów żeglugi). Każdemu z ekspertów na ekranie, rys.10, przedstawiono statek poruszający się po krzywoliniowej trajektorii (obraz ruchomy), raz znajdujący się bliżej środka toru, raz dalej.



Rys.10. Przykładowa, symulowana trajektoria ruchu statku po torze wodnym o szerokości 200 [m], z zaznaczonymi punktami sytuacyjnymi, które ekspert ma zaklasyfikować jako bezpieczne lub niebezpieczne.

Należy zwrócić tu uwagę na ważny fakt: ekspert nie zna w tym eksperymencie liczbowych wartości odchyłek Δy [m], α [°], ω [°/s]. Odchyłki te jednak obserwuje wizualnie i wciska przycisk "1" gdy sytuację uzna za niebezpieczną. Jeśli natomiast widziana sytuacja nie jest wg. eksperta niebezpieczna to nie wciska on żadnego przycisku a program zapisuje tą sytuację jako bezpieczną i przyporządkowuje jej wartość "0".